

К ВОПРОСУ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОЛЯ В ДИОДЕ С МНОГООСТРИЙНЫМ КАТОДОМ

И. З. ГЛЕЙЗЕР, А. И. НАЛЕТОВ, Б. В. ОКУЛОВ, Г. И. СТАНЕВКО

(Представлена научным семинаром кафедры инженерной
и вычислительной математики ТПИ)

При формировании сильноточных электронных пучков в ускорителях прямого действия возникает задача расчета электрического поля в электронной пушке, катод которой представляет собой систему острий, а анод — плоскость. При заданном расстоянии между остриями максимальная плотность острий обеспечивается в случае расположения их в углах правильных треугольников. При этом каждое острие оказывается окруженным шестью другими, находящимися на равных расстояниях от первого. Диод в этом случае можно представить состоящим из элементарных шестигранных ячеек (рис. 1), на боковой по-

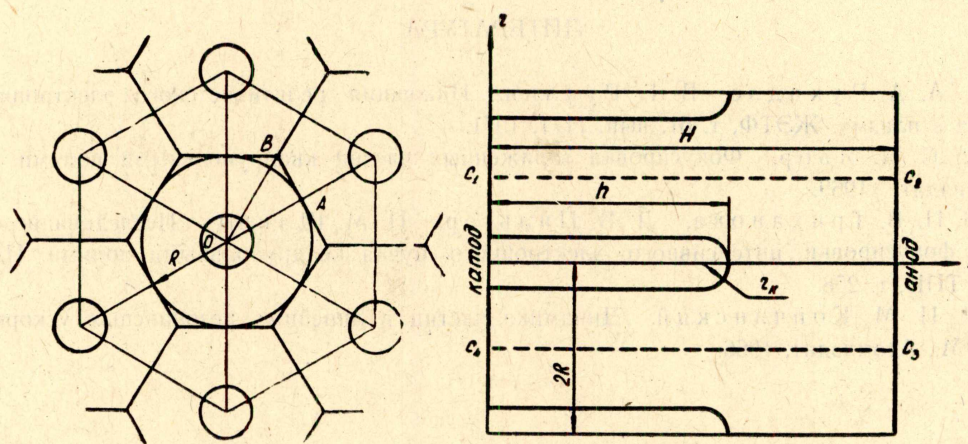


Рис. 1. а — схема расположения эмиттеров в катоде; б — расчетная схема участка диода.

верхности которых нормальная составляющая электрического поля равна нулю. Найти распределение поля для данной системы электродов на ЦВМ в силу сложности граничных условий затруднительно. Поэтому предположим, что поле вблизи острия — эмиттера существенно не изменится, если мы шестигранную ячейку заменим вписанной (в шестигранник) цилиндрической ячейкой, на поверхности которой нормальная составляющая поля также равна нулю.

Для расчета поля введем цилиндрическую систему координат рис. 1б. Так как система электродов осесимметрична, уравнение Лапласа имеет вид

$$\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = 0. \quad (1)$$

Для решения уравнения (1) был использован метод конечных разностей. Область $C_1 C_2 C_3 C_4$ покрывалась прямоугольной сеткой, образованной прямыми

$$r = r_i, \quad (i = 0, 1, \dots, n),$$

$$z = z_k, \quad (k = 0, 1, \dots, m).$$

Если значение потенциала электрического поля в узлах (i, k) , $(i, k+1)$, $(i+1, k)$, $(i, k-1)$, $(i-1, k)$ обозначить через U_0, U_1, U_2, U_3, U_4 , а расстояние каждого узла от (i, k) через h_1, h_2, h_3, h_4 соответственно, то разностный аналог уравнения Лапласа в цилиндрических координатах примет вид

$$\begin{aligned} & \frac{2}{h_1 + h_3} \left(\frac{u_1}{h_1} + \frac{u_3}{h_3} \right) + \frac{2}{h_2 + h_4} \left(\alpha \frac{u_2}{h_2} + \beta \frac{u_4}{h_4} \right) - \\ & - \left(\frac{2}{h_1 h_3} + \frac{2}{h_2 h_4} + \gamma \right) u_0 = 0, \end{aligned} \quad (2)$$

где

$$\alpha = 1 + \frac{h_4}{2r_0}, \quad \beta = 1 - \frac{h_2}{2r_0}, \quad \gamma = \frac{1}{h_2 r_0} - \frac{1}{h_4 r_0},$$

а r_0 — расстояние от оси симметрии до рассматриваемой точки. Так как при $z=0$ составляющая поля $\frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r}$ не определена, то из условий симметрии для точек, лежащих на оси, конечно-разностный аналог будет иметь вид

$$\frac{2}{h_1 + h_3} \left(\frac{u_1}{h_1} + \frac{u_3}{h_3} \right) + \frac{4u_2}{h_2} - \left(\frac{2}{h_1 h_3} - \frac{4}{h_2^2} \right) u_0 = 0. \quad (3)$$

Значения потенциала на аноде

$$u_{i,0} = c = \text{const}, \quad (4a)$$

на катоде

$$u_{i,k} = 0, \quad (4b)$$

а так как нормальная производная поля на цилиндрической поверхности (по условию) равна нулю, то на $(n+1)$ -м слое значения потенциала удовлетворяют соотношению

$$u_{n+1, k} = u_{n-1, k}. \quad (4b)$$

Система уравнений (2÷4) решалась на ЦВМ БЭСМ-4 методом верхней релаксации [1] с ускоряющим множителем $\omega=1,6$. Полученная картина поля показана на рис. 2 сплошными линиями. Относительная погрешность полученного решения не превышает 1%.

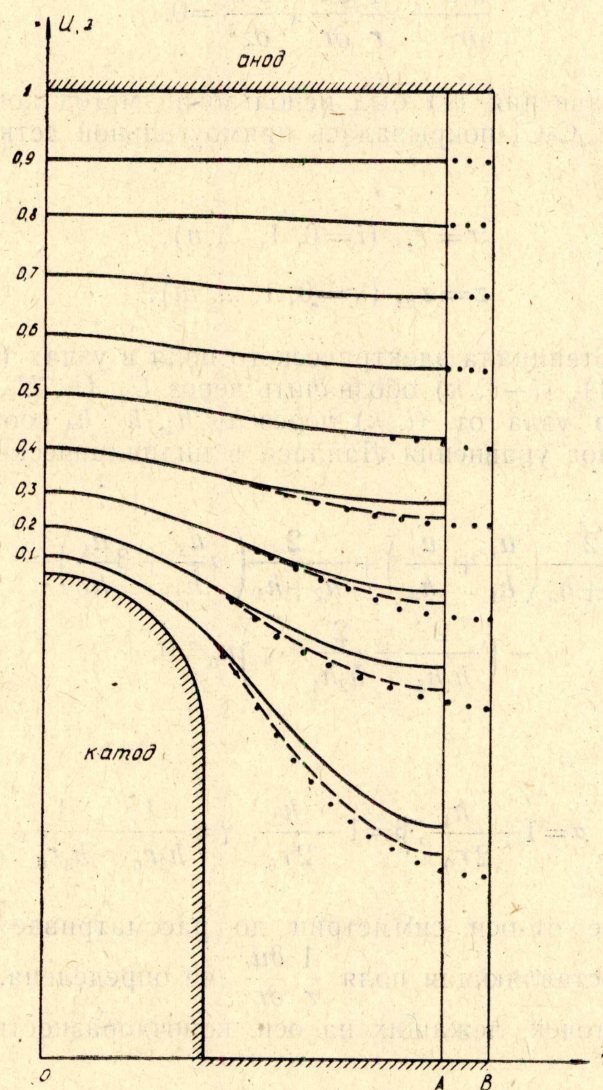


Рис. 2. Распределение поля в элементарной ячейке диода.

Для проверки правильности методики расчета поля на ЦВМ проведено моделирование полей на электролитической ванне при различных значениях H , h , R при $r_k = \text{const}$. Была изготовлена электролитическая ванна с учетом особенности расположения острий в диоде. Картина поля снималась в наиболее характерных сечениях ОА и ОВ элементарной ячейки (рис. 1а) в виде серии эквипотенциалей, регистрация которых производилась автоматически с относительной погрешностью, не превышающей 2%.

Эквипотенциали поля в сечении ОА показаны на рис. 2 пунктиром, а в сечении ОВ точками. Из рис. 2 видно, что в области, представляющей наибольший интерес, а именно: в районе вершины эмиттера и между вершиной эмиттера и анодом эквипотенциали практически совпадают. Отсюда следует, что для диодов с многоострийными катодами и

элементарной ячейкой, имеющей указанную на рис. 1 структуру, предложенная методика расчета полей на ЭЦВМ дает удовлетворительные результаты.

Авторы выражают благодарность Лукутину В. А. за помощь в работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. С. Березин, Н. П. Житков. Методы вычислений. М., ГИФМЛ, 1959.